

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-143245

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

G05D 1/02
G01B 11/00
G01C 15/00
G06T 17/00
G08G 1/16

(21)Application number : 08-295176

(71)Applicant : KOMATSU LTD

(22)Date of filing : 07.11.1996

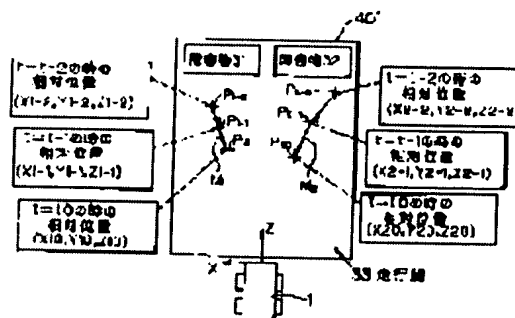
(72)Inventor : YAMAGUCHI HIROYOSHI
SHINPO TETSUYA
YOSHIMI OSAMU
MIZUI SEIICHI

(54) OBSTACLE COLLISION PREVENTING DEVICE FOR MOBILE OBJECT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To exactly perform collision avoiding operation by exactly dealing with respective obstacle successively moving and exactly operating the relative speed of respective obstacles even when there are many obstacles, the relative speed is high, and a mobile object considerably swings in case of traveling.

SOLUTION: Since relative positions $P1-2$, $P1-1$, $P10...P2-2$, $P2-1$, $P20...$ of respective obstacles 31 and 32 existent outside a mobile object 1 are successively measured at intervals ($t-2$, $t-1$, $t0...$) shorter than fixed time by a position measuring means, sequential relative position data are successively made correspondent to the data of respective obstacles. Based on the relation between these respective correspondent obstacles and sequential relative position data, the relative speed of respective obstacles is successively calculated. Then, proximate time T to the most approach to the mobile object and proximate distance L in the case of most proximity are successively operated and operation and processing for preventing the mobile object 1 from colliding with the obstacles 31 and 32 are performed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-143245

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 5 D 1/02

G 0 5 D 1/02

S

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

A

G 0 1 C 15/00

G 0 1 C 15/00

A

G 0 6 T 17/00

G 0 8 G 1/16

A

G 0 8 G 1/16

G 0 6 F 15/62

3 5 0 A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平8-295176

(22) 出願日

平成8年(1996)11月7日

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 山口 博義

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(72) 発明者 新保 哲也

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(72) 発明者 吉見 修

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(74) 代理人 弁理士 木村 高久 (外1名)

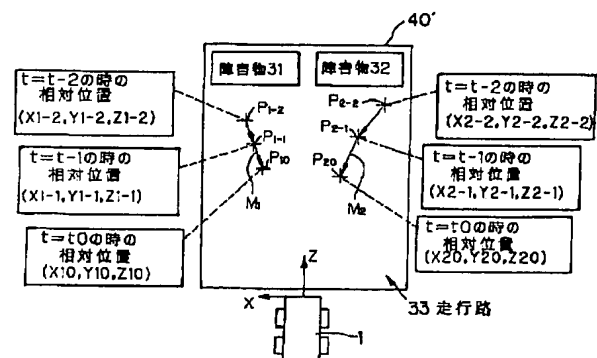
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動体の障害物衝突防止装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 障害物の数が多くても、相対速度が大きくても、また移動体の走行時の揺れが大きくても、逐次移動する各障害物の対応を正確にとり、各障害物の相対速度を正確に演算することによって、衝突回避動作を正確に行えるようにする。

【解決手段】 移動体1の外部に存在する各障害物31および32の相対位置 P_{1-2} 、 P_{1-1} 、 P_{10} …および P_{2-2} 、 P_{2-1} 、 P_{20} …が位置計測手段で一定時間以下の間隔($t-2$ 、 $t-1$ 、 $t0$ …)で逐次、計測されることによって、当該逐次の相対位置データが、いずれの障害物のデータであるかの対応付けが逐次、行われる。そして、上記対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係に基づき、各障害物それぞれの相対速度が逐次、演算される。そして、移動体に最も接近するまでの近接時間 T およびその最も近接したときの近接距離 L が逐次、演算され、移動体1が障害物31、32に衝突することを回避する動作、処理が行われる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 移動体にとっての障害物が当該移動体に最も近接するまでの近接時間と、当該最も近接したときの前記障害物との近接距離とを予測し、この予測結果に基づき前記移動体が前記障害物に衝突することを回避するようにした移動体の障害物衝突防止装置において、

移動体の外部に存在する各障害物の相対位置を位置計測手段で一定時間以下の間隔で逐次、計測することによって、当該逐次の相対位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けを逐次、行う対応付け手段と、前記対応付け手段によって対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係に基づき、各障害物それぞれの相対速度を逐次、演算する速度演算手段と、前記対応付け手段によって対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係と、前記速度演算手段の演算結果から得られる各障害物と逐次の相対速度データとの関係とに基づき、各障害物それぞれについて、前記近接時間および前記近接距離を逐次、演算する近接時間・距離演算手段とを具えた移動体の障害物衝突防止装置。

【請求項 2】 前記対応付け手段は、移動体からみた 3 次元座標系における移動体外部の各障害物の現在の 3 次元画像を一定時間以下の間隔で逐次、生成する 3 次元画像生成手段と、前記 3 次元画像生成手段で逐次生成される 3 次元画像の中の各障害物の座標位置を逐次検出することによって、当該逐次の座標位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けを逐次、行う手段とからなるものである、

請求項 1 記載の移動体の障害物衝突防止装置。

【請求項 3】 前記 3 次元画像生成手段は、移動体の基準位置から、移動体外部の各障害物までの距離を計測し、当該各障害物の距離画像を逐次、生成し、この距離画像の各画素毎の 2 次元座標位置データと、各画素毎の前記基準位置からの距離データとに基づき、前記距離画像の各画素毎に、移動体からみた 3 次元座標系における 3 次元座標位置データを演算し、当該移動体座標系における前記各障害物の現在の 3 次元画像を一定時間以下の間隔で逐次、生成するものである、

請求項 2 記載の移動体の障害物衝突防止装置。

【請求項 4】 前記対応付け手段は、前記生成された 3 次元画像の中の各障害物の特徴を表す画像情報を抽出し、この抽出された画像情報に基づき、逐次計測される座標位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けを行うものである、

請求項 2 記載の移動体の障害物衝突防止装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無人ダンプトラック、移動ロボット等の移動体にとっての障害物がこの移

動体に最も近接するまでの近接時間と、この最も近接したときの障害物との近接距離とを予測し、この予測結果に基づき移動体が障害物に衝突することを回避するようにした移動体の障害物衝突防止装置に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】無人ダンプトラック、移動ロボット等の移動体において、その走行路上に存在する複数の障害物を検出する装置として、レーザレンジファインダをスキャンさせることによって障害物を検出するレーザレーダ、ステレオカメラによる 3 次元視覚センサを用いて障害物を検出するものなどがある。

【0003】これら従来の障害物検出装置では、一定の時間（サンプリングタイム）ごとに走査画像、撮像画像が取得されて、各画像の中から複数の障害物が判別される。

【0004】しかし、一つの障害物であるならば問題はないものの、複数の障害物を、異なる時刻で取得された画像の中から、検出しようとするときには、たとえ、ある時刻の画像から移動体と複数の障害物との相対位置がわかったとしても、時間間隔の大きいつぎの時刻で取得された画像の中では、前回の位置から相対位置が相当変化しているために、前回の画像の中の各障害物との対応がつかないことがあった。

【0005】このように、前回取得された画像と今回取得された画像の中で、複数の障害物の対応付けがつかないために、個々の障害物の相対移動速度を演算しようとしても精度よく求めることができないことがあった。

【0006】さらには、無人ダンプトラックたる移動体は、不整地等を走行することが多く、走行中の車体の揺れは大きいため、移動体搭載の画像は、その揺れの影響を受ける。このため、前回の画像と今回の画像とを比較して複数の障害物の対応をとる作業は、さらに困難なものとなっていた。

【0007】以上のように、従来の障害物検出装置では、移動体と各障害物との相対速度を精度よく演算することができないため、この相対速度から障害物が移動体に衝突するまでの時間等を予測して衝突を回避する処理を行うことは、精度よく行うことができないこととなっていた。すなわち、従来の障害物検出装置で、移動体と各障害物との衝突が予測できるのは、障害物の数が少なく、かつ移動体と障害物との相対速度が小さく、かつ移動体の走行時の揺れが小さい場合に限られていた。

【0008】本発明はこうした実状に鑑みてなされたものであり、障害物の数が多くても、また、移動体と各障害物との相対速度が大きくても、また移動体の走行時の揺れが大きくても、逐次移動する各障害物の対応を正確にとり、これにより各障害物の相対速度を正確に演算することによって、衝突回避動作を正確に行えるようにすることを目的とするものである。

【0009】

【課題を解決するための手段および効果】そこで、上記目的を達成するために本発明の主たる発明では、移動体にとっての障害物が当該移動体に最も近接するまでの近接時間と、当該最も近接したときの前記障害物との近接距離とを予測し、この予測結果に基づき前記移動体が前記障害物に衝突することを回避するようにした移動体の障害物衝突防止装置において、移動体の外部に存在する各障害物の相対位置を位置計測手段で一定時間以下の間隔で逐次、計測することによって、当該逐次の相対位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けを逐次、行う対応付け手段と、前記対応付け手段によって対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係に基づき、各障害物それぞれの相対速度を逐次、演算する速度演算手段と、前記対応付け手段によって対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係と、前記速度演算手段の演算結果から得られる各障害物と逐次の相対速度データとの関係とに基づき、各障害物それぞれについて、前記近接時間および前記近接距離を逐次、演算する近接時間・距離演算手段とを具えるようにしている。

【0010】かかる構成によれば、図3に示すように、移動体1の外部に存在する各障害物31および32の相対位置P1-2、P1-1、P10…およびP2-2、P2-1、P20…が位置計測手段で一定時間以下の間隔（ $t-2$ 、 $t-1$ 、 $t0$ …）で逐次、計測されることによって、図4のテーブル1に示すように、当該逐次の相対位置データが、いずれの障害物のデータであるかの対応付けが逐次、行われる。

【0011】そして、図5のテーブル2に示すように、上記対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係に基づき、各障害物それぞれの相対速度が逐次、演算される。

【0012】そして、この対応付けられた各障害物と逐次の相対位置データとの関係と、各障害物と逐次の相対速度データとの関係とに基づき、図7に示すように、各障害物31、32それぞれについて、移動体に最も接近するまでの近接時間Tおよびその最も近接したときの近接距離Lが逐次、演算される。この演算結果に基づき、移動体1が障害物31、32に衝突することを回避する動作、処理がなされる。

【0013】以上のように、位置計測手段で一定時間以下の間隔で逐次、位置計測を行うようにしているので、位置計測データがいずれの障害物のものであるかの対応付けを正確に行うことができる。つまり、障害物の数が多くても、また移動体と各障害物との相対速度が大きくても、また移動体の走行時の揺れが大きくても、各障害物の相対速度が正確に演算され、衝突回避動作を正確に行うことができる。

【0014】また、本発明の別の発明では、対応付け手

段が、移動体からみた3次元座標系における移動体外部の各障害物の現在の3次元画像を一定時間以下の間隔で逐次、生成する3次元画像生成手段と、3次元画像生成手段で逐次生成される3次元画像の中の各障害物の座標位置を逐次検出することによって、当該逐次の座標位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けを逐次、行う手段とで構成される。さらに、上記生成された3次元画像の中の各障害物の特徴を表す画像情報が抽出され、この抽出された画像情報に基づき、逐次計測される座標位置データがいずれの障害物のデータであるかの対応付けが行われる。

【0015】以上のように各障害物の3次元画像を生成して、その3次元画像の中から各障害物の特徴を表す画像情報を抽出するようにしているので、共通する内容の画像情報の位置計測データが同一の障害物のものであるという知見のもとに、対応付けが更に正確に行われる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0017】本実施の形態では、図1に示すように無人ダンプトラック、移動ロボット等の移動体1が走行路33を走行する場合に、この走行路33上に存在する岩等の障害物31、他の車両等の障害物32等の各障害物を、移動体搭載の衝突予測装置2で検出し、衝突の危険度の判定を行う場合を想定している。なお、説明の便宜のため2つの障害物を想定しているが、本発明としては、3以上の障害物がある場合でも当然適用することができる。

【0018】図1において、X-Y-Zは、移動体1とともに移動する車体座標系を示している。Xは移動体1の車幅方向に対応する座標軸であり、Zは移動体1の進行方向に対応する座標軸であり、Yは鉛直方向の座標軸である。この車体座標系の原点は、衝突予測装置2の障害物検出部2のカメラの原点に対応している。

【0019】図2は、本発明の実施形態である衝突予測装置2の構成を示している。

【0020】同図2に示すように、この衝突予測装置2は、移動体1の外部に存在する各障害物31および32の移動体1に対する相対位置P1-2、P1-1、P10…およびP2-2、P2-1、P20…を、一定時間以下の間隔（ $t-2$ 、 $t-1$ 、 $t0$ …）で高速に逐次、位置計測し、この逐次の相対位置データが、いずれの障害物のデータであるかの対応付けを逐次、行う障害物検出部4と、上記対応付けられた各障害物31、32と逐次の相対位置データとの関係に基づき、各障害物31、32それぞれの移動体1に対する相対速度を逐次、演算する相対速度算出部5と、この対応付けられた各障害物31、32と逐次の相対位置データとの関係と、各障害物31、32と逐次の相対速度データとの関係とに基づき、各障害物31、32それぞれについて、移動体1に最も接近するまでの近

接時間 T およびその最も近接したときの近接距離 L を逐次、予測演算する予測部6と、衝突の危険度を判断するためのテーブル、式が予め記憶されている記憶部8と、予測部6で予測された近接時間 T と近接距離 L を、記憶部8のテーブル、式の内容に突き合わせて障害物が移動体1に衝突する危険の度合いを判定する判定部7とから構成されている。

【0021】図1に示す移動体搭載の制御コントローラ3では、上記判定部7から出力される衝突危険度に応じて、移動体1が障害物に衝突しないように、移動体1が駆動制御される。このようにして、移動体1が障害物31、32に衝突することが回避される。

【0022】以下、衝突予測装置2で実行される処理について図3～図12を参照して説明する。

【0023】さて、本発明者らは、移動体進行方向の距離画像を、各画素の3次元分布に変換し、この画素の3次元分布状態から、走行路に対応する画素群を特定し、この走行路を平面とみて、この平面の高さを基準としてこれより所定の高さ以上にある物体を障害物として検出するという発明を提案しており、この発明を実施する試みがなされている。

【0024】衝突予測装置2の障害物検出部4は、上記本発明者らの提案に係る障害物検出方法を適用して構成することができる。

【0025】すなわち、障害物検出部4では、多眼レンズ（多眼のカメラ）によって、例えば図11に示すような走行路面33と、走行路面33上に存在する障害物31、32からなる距離画像30が生成される。距離画像30の各画素50には、 $i-j$ 2次元座標系における2次元座標位置 (i, j) 、移動体1の基準位置（基準面）からの距離 d を示す3次元のデータ (i, j, d) が対応づけられており、距離画像30の各位置 i, j の画素は、距離 d に応じた明度を有している。こうした3次元の距離画像を生成するための距離計測の方法としては、例えば本発明者らに係る特願平7-200999号に示される多眼レンズ（多眼カメラ）を使用した方法を用いることができる。

【0026】ここで、複数のカメラの撮像画像中の画素をパターンマッチングによって対応させているため、距離画像30の中には、誤対応を起こしている画素が存在している可能性がある。そこで、得られた距離画像30の画素のうち、パターンマッチング時のエラーの大きさが所定のしきい値以上のものについては、誤対応点であるとして距離画像30の中から除去しておくことができる。

【0027】このようにして距離画像30が取得されると、この距離画像30を座標変換することによって、図12に示すように、車体座標系 $X-Y-Z$ における3次元画像40が生成される。

【0028】すなわち、距離画像30の各画素50に

は、上述したように (i, j, d) の3次元の情報が対応づけられているので、この距離画像データ (i, j, d) で示される各画素50を、図12に示すように、移動体1とともに移動し、移動体1のカメラ原点を原点とするカメラ座標系たる車体座標系 $X-Y-Z$ 上の3次元座標位置データ (X, Y, Z) に対応づけられた各画素60に変換することができる。このような変換を施すことによって、画素60の3次元座標位置の分布図として3次元分布画像40を取得することができる。

【0029】そして、この3次元分布画像40の全画素60の中から鉛直方向（ Y 軸方向）最下点にある画素群を選択し、これらを平面近似することによって、走行路面33に相当する平面（ $X-Z$ 平面）を検出することができる。

【0030】つぎに、走行路面33に対応する平面を基準とする所定のしきい値以上の高さの物体があるか否かが検出される。この場合、平面33を基準として所定のしきい値以上の物体31、32があるので、これが「障害物」とであると検出される。

【0031】この障害物の検出は、以下のように画素分布の連続性を考慮して行うことができる。

【0032】すなわち、障害物31、32は、ひとまとまりの物体であるので、 $X-Y$ の2次元分布において、ひとかたまりの画素群としてそれぞれ観察されるはずであり、ひとまとまりの画素群ではないもの（障害物以外の物体）と区別することができるはずである。

【0033】そこで、こうした知見に基づき、この2次元分布を、幅 X 方向に、所定の間隔毎に区分して各領域71、71…毎に（図12参照）、障害物候補点たる画素が存在しているか否かを探索していく。そして、障害物候補点が存在している領域を障害物候補領域とする。そして、この障害物候補領域が、幅方向 X で連続しているか否かが探索される。こうして、幅方向 X で連続している障害物候補領域の全体が、障害物領域とされる。本実施の形態の場合、障害物31に対応する一の障害物領域と、障害物32に対応する他の一の障害物領域の2つの障害物領域が探索されるはずである。

【0034】つぎに、今度は、上記各領域71、71…毎に、 $Y-Z$ の2次元分布が求められる。

【0035】そして、この各領域71毎の2次元分布について、同様にして障害物領域を探索する処理を実行していく。

【0036】こうして、最終的に、3次元的に画素群が連続している2つの障害物領域が取得され、これら2つの障害物領域に含まれる画素群がそれぞれ障害物31、32であると特定、検出される。

【0037】つぎに、こうして検出された障害物31を構成する画素60の中で、この障害物31を代表する位置（例えば重心位置）に対応する画素の3次元座標位置 $P1$ が求められる。そして、この障害物31の横方向の

最大長さが「幅 a1」として求められる。そして、この障害物 31 の幅 a1 に直角方向の最大長さが「奥行き b1」として求められる。さらに、この障害物 31 の最大高さが「高さ c1」として求められる。さらに、障害物 31 を特徴づける色 d1 (障害物 31 を構成する画素 60 の明度を平均等することによって得られる) が求められる。他方の障害物 32 についても同様の処理が実行され、代表位置 P2、幅 a2、奥行き b2、高さ c2、色 d2 が求められる。なお、障害物 31、32 の代表位置 P1、P2 としては、中心位置でもよい。

【0038】こうして、平面近似された画素群として走行路面 33 が検出され、ひとまとまりの連続した分布の画素群として障害物 31、32 が検出されると、最終的に図 13 に示すような 3 次元画像 40' が取得される。

【0039】ここで、上述した障害物検出処理は、高速にリアルタイムに行うことが可能であり、障害物 31、32 の位置 P1、P2、つまり移動体 1 (移動体 1 のカメラ) に対する障害物 31、32 の相対位置 P1、P2 をきわめて短いサンプリング間隔で計測することができる。

【0040】こうして、図 3 に示すように、障害物 31 および 32 の相対位置 P1-2、P1-1、P10... および P2-2、P2-1、P20... が、きわめて短いサンプリングタイム (t-2、t-1、t0...) で逐次、計測される。

【0041】ただし、各時刻の相対位置データ P1-2、P2-2 (時刻 t-2)、P1-1、P2-1 (時刻 t-1)、P10、P20 (時刻 t0) ... を求めただけでは、各時刻のいずれの位置データが、いずれの障害物のデータであるかの対応づけは得られない。

【0042】そこで、同図 3 に示すように、今回の計測時刻の 2 つの位置データのうち、前回の計測時刻の位置に最も近い方の位置データが、同一の障害物の位置データであると順次判断することによって、各時刻の相対位置データと各障害物 31、32 との対応づけが行われる。ここで、たとえ、障害物 31、32 が移動体 1 に対して高速に移動していたとしても、位置計測はきわめて短い間隔で行われているので、前回の計測時刻の位置の近傍に存在する障害物を同一の障害物とみなす上述の判断を正確に行うことができ、逐次計測されるある時刻における 2 つの相対位置データがいずれの障害物に属するものかの対応付けを、正確かつ確実に行うことができる。

【0043】また、障害物の数が多かったり、移動体 1 の走行時の揺れが大きくて 3 次元画像 40' にその揺れの影響が加わったとしても、上記対応付けを正確かつ確実に行うことができる。

【0044】さらに、本実施の形態では、相対位置データ P1 と一緒に、幅 a1、奥行き b1、高さ c1、色 d1 といった特徴情報が取得され、相対位置データ P2 と一緒に、幅 a2、奥行き b2、高さ c2、色 d2 といった特徴情報が取得されているので、特徴情報の内容が共通してい

る相対位置データが、同一の障害物のデータであると判断することができ、ある時刻における 2 つの相対位置データがいずれの障害物に属するものかの対応付けを、より正確に、より確実に行うことができる。なお、特徴情報としては、幅 a、奥行き b、高さ c、色 d のうちのいずれか一つあるいは任意の 2 つ以上の組合わせを使用することができる。また、特徴情報を使用しないで対応付けを行う実施も可能である。

【0045】また、本発明としては、距離画像から 3 次元画像に変換する上述した方法に限定されるものではない。

【0046】移動体 1 からみた 3 次元座標系 X-Y-Z における移動体外部の各障害物の現在の 3 次元画像を一定時間以下の間隔で逐次、生成することができるものあれば、3 次元画像を生成する方法は任意である。

【0047】さらには、本発明としては、必ずしも 3 次元画像を生成するものに限定されるものではない。

【0048】要は、移動体 1 の外部に存在する各障害物の相対位置を一定時間以下の間隔で逐次、計測することができるものであればよい。

【0049】このようにして、図 3 に示すように、3 次元画像 40' における位置の軌跡 M1 が障害物 31 のものであり、軌跡 M2 が障害物 32 のものであるとの対応付けが行われ、その結果が、図 4 に示すように、テーブル 1 として記憶、格納される。相対速度算出部 5 では、図 4 のテーブル 1 に格納された各障害物 31、32 と逐次の相対位置データとの対応関係に基づき、各障害物 31、32 それぞれの相対速度が逐次、演算され、その演算結果が図 5 に示すように、テーブル 2 として記憶、格納される。

【0050】相対位置データから相対速度を算出する方法は、任意の方法を適用することができ、例えば以下のような方法が挙げられる。

【0051】(速度算出方法 1) 最終の時刻 t0 と最終の時刻の一つ前の時刻 t-1 の相対位置の各成分の差分をとる方法である。

【0052】たとえば、障害物 31 の最終時刻 t0 における相対速度 V10 (V_{x10} 、 V_{y10} 、 V_{z10}) は、以下のような演算によって求められる。

【0053】

相対速度の X 成分: $V_{x10} = X_{10} - X_{1-1}$

相対速度の Y 成分: $V_{y10} = Y_{10} - Y_{1-1}$

相対速度の Z 成分: $V_{z10} = Z_{10} - Z_{1-1}$

(速度算出方法 2) 加速度を考慮した相対速度を算出する方法である。

【0054】これは、最終の時刻 t0 と最終の時刻の一つ前の時刻 t-1 における相対位置だけでなく、それ以前の時刻 t-2... (少なくとも時刻 t-2) における相対位置を用いて、これら少なくとも 3 つの相対位置間を補間した曲線を、図 6 (a) に示すように求め、この曲線の時

刻 t_0 における接線を、最終時刻 t_0 における相対速度 V_0 とするものである。

【0055】予測部 6 では、テーブル 1 に格納された各障害物 31、32 と逐次の相対位置データとの対応関係と、テーブル 2 に格納された各障害物 31、32 と逐次の相対速度データとの対応関係とに基づき、各障害物 31、32 それぞれについて、最終時刻たる現在の時刻 t_0 より障害物が移動体 1 に最も接近するまでの近接時間 T が演算されるとともに、その最も近接したときの移動体 1 と障害物との近接距離 L が演算される。

【0056】相対位置と相対速度から近接時間 T 、近接距離 L を算出する方法は、任意の方法を適用することができ、例えば以下のような方法が挙げられる。

【0057】（近接時間・距離算出方法 1）最終の時刻 t_0 における相対位置から最終時刻 t_0 における相対速度のままで障害物が移動するものと仮定して、その予測移動軌跡を直線（最終時刻の相対速度ベクトルの方向成分）とみなし、この直線と車体座標系 $X-Y-Z$ との幾何学的関係から、算出する方法である。

【0058】すなわち、障害物 31 を例にとると、図 7 に示すように、最終の時刻 t_0 における相対位置 P から最終時刻 t_0 における相対速度 V のままで障害物 31 が移動するものと仮定する。この結果、最終時刻の相対位置 $P(X_{10}, Y_{10}, Z_{10})$ を起点として相対速度ベクトル $V(V_{x10}, V_{y10}, V_{z10})$ の方向成分方向に延びる直線が予測移動軌跡 M とされる。

【0059】つぎに、車体座標系 $X-Y-Z$ の原点 $O(0, 0, 0)$ から直線 M に下ろした垂線が求められ、この垂線が直線 M と交差する座標位置 $Q(X_Q, Y_Q, Z_Q)$ *

$$Z_Q = (V_{z10}/V_{x10}) \cdot X_Q - (V_{z10}/V_{x10}) \cdot X_{10} + Z_{10} \quad \cdots (1)$$

つぎに、直線 M たる相対速度ベクトル $V(V_{x10}, V_{z10})$ と直線 OQ とは垂直になるという条件の下に、下記 (2) 式が得られる。

$$X_Q \cdot V_{x10} + Z_Q \cdot V_{z10} = 0 \quad \cdots (2) \quad *$$

$$X_Q = 1 / (V_{x10} \cdot V_{x10} + V_{z10} \cdot V_{z10}) \cdot \{ (V_{z10} \cdot V_{z10}) \cdot X_{10} - (V_{x10} \cdot V_{x10}) \cdot Z_{10} \}$$

$$Z_Q = 1 / (V_{x10} \cdot V_{x10} + V_{z10} \cdot V_{z10}) \cdot \{ - (V_{z10} \cdot V_{z10}) \cdot X_{10} + (V_{x10} \cdot V_{x10}) \cdot Z_{10} \} \quad \cdots (3)$$

よって、近接距離 L は、

$$L = \sqrt{X_Q^2 + Z_Q^2} \quad \cdots (4)$$

$$T = (Z_{10} - Z_Q) / V_{z10} \text{ あるいは } (X_{10} - X_Q) / V_{x10} \quad \cdots (5)$$

として求められる。

【0069】（近接時間・距離算出方法 3）この方法は、上記算出方法 2 における演算をより簡易に行うことによって演算処理時間をさらに短縮する方法である。

【0070】すなわち、図 9 に示すように、障害物 31 が $Z=0$ の面を横切るときの位置を、障害物 31 が移動☆

$$L = X_Q = X_{10} + V_{x10} \cdot T = X_{10} + V_{x10} \cdot Z_{10} / V_{z10} \quad \cdots (7)$$

と、きわめて簡易に算出することができる。

【0072】（近接時間・距離算出方法 4）この方法

* Q が演算される。この交差点 Q が、障害物 31 が移動体 1 に最接近するときの相対位置に対応している。そして、原点 $O(0, 0, 0)$ と交差点 $Q(X_Q, Y_Q, Z_Q)$ との距離が、近接距離 L とされる。

【0060】つぎに、最終時刻の相対位置 $P(X_{10}, Y_{10}, Z_{10})$ と最接近するときの予測相対位置 $Q(X_Q, Y_Q, Z_Q)$ との距離が演算され、さらにこの距離を相対速度 V で移動したときの時間が演算され、これが近接時間 T とされる。

10 【0061】（近接時間・距離算出方法 2）この方法は、上記算出方法 1 において、鉛直方向 Y 軸の成分を無視して演算処理を行う方法である。

【0062】走行路が坂道ではない平坦な路面であり、障害物が空中を飛んだり、坂道を走行していない状況下では、この方法を適用することができ、演算を簡易にすることによって演算処理時間を短縮することができる。

【0063】すなわち、図 8 に示すように、最終の時刻 t_0 における相対位置 P から最終時刻 t_0 における相対速度 V のままで障害物 31 が移動するものと仮定する。この結果、最終時刻の相対位置 $P(X_{10}, Z_{10})$ を起点として相対速度ベクトル $V(V_{x10}, V_{z10})$ の方向成分方向に延びる直線が予測移動軌跡 M とされる。

【0064】この直線 M は、相対速度 $V(V_{x10}, V_{z10})$ の方向成分に応じた傾き (V_{z10}/V_{x10}) を有し、 P 点 (X_{10}, Z_{10}) 、障害物 31 が移動体 1 に最接近するときの相対位置たる Q 点 (X_Q, Z_Q) を通るので、下記 (1) 式が得られる。

【0065】

※上記 (1)、(2) 式から最接近点 Q の座標位置 (X_Q, Z_Q) は、以下のようにして求められる。

【0067】

★と求められる。

★40 【0068】また、近接時間 T は、

☆体 1 に最接近するときの位置 $Q(X_Q, 0)$ と仮定するものである。

【0071】この場合、近接時間 T は、 $T = Z_{10} / V_{z10} \quad \cdots (6)$

と、近接距離 L は、

は、加速度を考慮して障害物の予測移動軌跡を正確に予測する方法である。

【0073】すなわち、最終の時刻 t_0 における相対位置 P_0 、相対速度 V_0 だけでなく、それ以前の時刻 $t-1$ 、 $t-2\cdots$ （少なくとも時刻 $t-1$ ）における相対位置、相対速度を用いて、これら少なくとも2つの相対位置間を補間した曲線 M' を、図6（b）に示すように求め、この曲線 M' 上の点であって $X-Y-Z$ 座標の原点 O に最も近接するときの点 Q を求め、近接時間 T 、近接距離 L を求めるものである。

【0074】なお、障害物31の場合を想定して説明したが、他の障害物32についても同様の処理が実行され、近接時間 T 、近接距離 L が演算される。

【0075】記憶部8には、図10に示すように、近接時間 T の大きさと、近接距離 L の大きさの組合わせに応じて、障害物が移動体1に衝突する危険の度合いを判定するためのテーブル3が記憶、格納されている。

【0076】判定部7では、上記記憶部8に格納されたテーブル3の内容と、各障害物31、32それぞれにつき

$$D = (1/T) \cdot (1/T) \cdot (1/T) \cdot (W/L) \cdot (W/L) \cdots (8)$$

各障害物31、32の危険度 D が判定部7から出力される。

【0080】制御コントローラ3は、判定部7から出力された各障害物31、32の危険度と、各障害物31、32の現在位置とに基づき、急ブレーキをかけるべきか、ゆっくりブレーキをかけるべきか、あるいはハンドルをきって回避すべきか等を判断して、障害物を回避するよう移動体1を駆動制御する。

【0081】このようにして衝突回避動作が的確に行われ、移動体の安全性を飛躍的に向上させることができる。

【0082】なお、判定部7から各障害物31、32のうちで、危険度の最も大きい方の判定結果あるいは数値 D を出力して、判断、制御するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明に係る移動体の障害物衝突防止装置の実施形態の全体構成を示す斜視図である。

【図2】図2は実施の形態における衝突予測装置の構成を示すブロック図である。

【図3】図3は相対位置データと各障害物との対応関係を説明するために用いた図である。

【図4】図4は図3に示す対応関係を示すテーブルである。

【図5】図5は図4に示すテーブルから、各障害物と相対速度データとの対応関係のテーブルが求められる様子

*いて演算された近接時間 T 、近接距離 L とが、障害物ごとに突き合わされることによって、衝突の危険の度合いが判定される。

【0077】たとえば、障害物31の近接時間 T がしきい値 $Th1$ からしきい値 $Th2$ の間の範囲にあり、同障害物31の近接距離 L がしきい値 $Lh1$ からしきい値 $Lh2$ の間の範囲にある場合には、「危険度小」と判断される。各障害物31、32の危険度の判定結果が判定部7から出力される。また、記憶部8に、衝突の危険度を数値として演算する演算式を記憶させておき、この演算式に近接時間 T 、近接距離 L を代入することによって、衝突の危険度を求めてもよい。

【0078】たとえば、移動体1の車幅を W として、下記（8）式に示す演算式から衝突の危険度 D を演算することができる。

【0079】

を説明する図である。

【図6】図6（a）は補間によって相対速度を求める方法を説明する図で、同図（b）は補間によって近接点を求める方法を説明する図である。

【図7】図7は近接時間および近接距離を演算する第1の方法を説明する図である。

【図8】図8は近接時間および近接距離を演算する第2の方法を説明する図である。

【図9】図9は近接時間および近接距離を演算する第3の方法を説明する図である。

【図10】図10は衝突の危険度を判定するためのテーブルである。

【図11】図11は距離画像を示す図である。

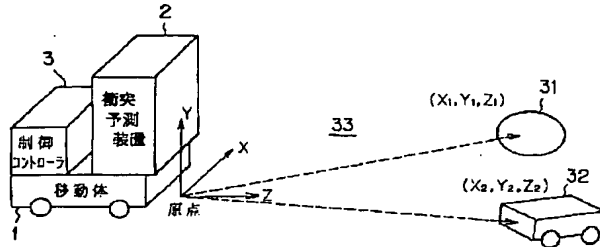
【図12】図12は距離画像から得られる画素の3次元分布画像を示す図である。

【図13】図13は画素の3次元分布画像から、走行路面および各障害物が特定された3次元画像を示す図である。

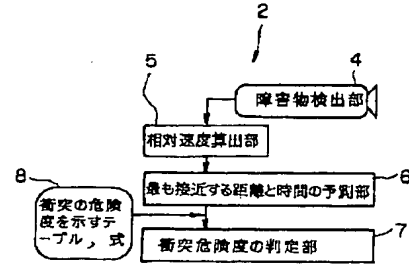
【符号の説明】

- 1 移動体
- 2 衝突予測装置
- 4 障害物検出部
- 5 相対速度算出部
- 6 予測部
- 7 判定部

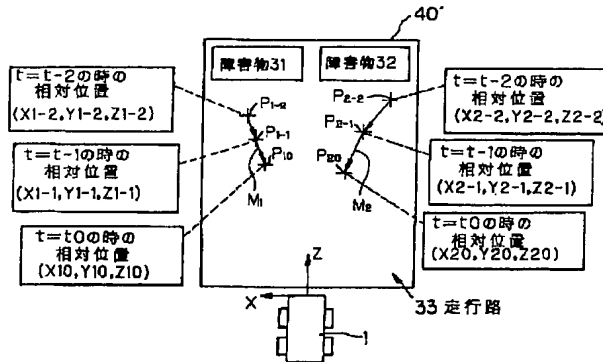
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

テーブル1. 各障害物と移動体との相対位置

	障害物31	障害物32
t=t0	(X10, Y10, Z10)	(X20, Y20, Z20)
t=t-1	(X1-1, Y1-1, Z1-1)	(X2-1, Y2-1, Z2-1)
t=t-2	(X1-2, Y1-2, Z1-2)	(X2-2, Y2-2, Z2-2)
:		

【図5】

テーブル1. 各障害物と移動体との相対位置

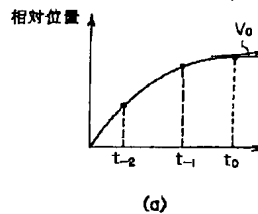
	障害物31	障害物32
t=t0	(X10, Y10, Z10)	(X20, Y20, Z20)
t=t-1	(X1-1, Y1-1, Z1-1)	(X2-1, Y2-1, Z2-1)
t=t-2	(X1-2, Y1-2, Z1-2)	(X2-2, Y2-2, Z2-2)
:		

相対速度の算出

テーブル2. 各障害物と移動体との相対速度

	障害物31	障害物32
t=t0	(Vx10, Vy10, Vz10)	(Vx20, Vy20, Vz20)
t=t-1	(Vx1-1, Vy1-1, Vz1-1)	(Vx2-1, Vy2-1, Vz2-1)
t=t-2	(Vx1-2, Vy1-2, Vz1-2)	(Vx2-2, Vy2-2, Vz2-2)
:		

【図6】

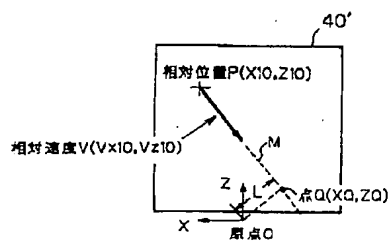


【図10】

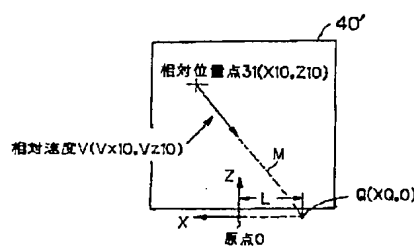
テーブル3

時間t	危険なし	危険なし	危険なし	危険なし
時間Ths	危険なし	危険なし	危険なし	危険なし
時間The	危険度小	危険なし	危険なし	危険なし
時間Th	危険度中	危険度小	危険なし	危険なし
0	危険度大	危険度中	危険度小	危険なし
	距離Lh	距離Lhe	距離Lhs	→距離L

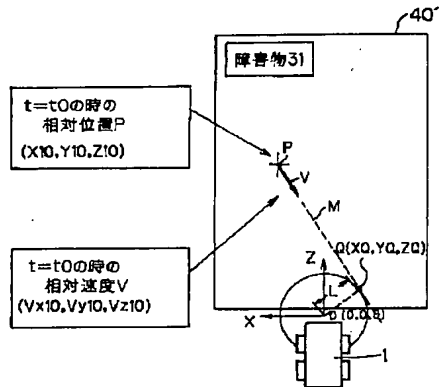
【図8】



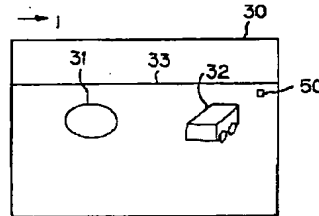
【図9】



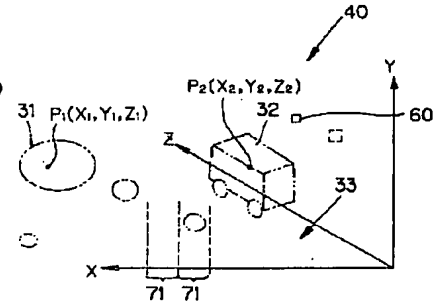
【図7】



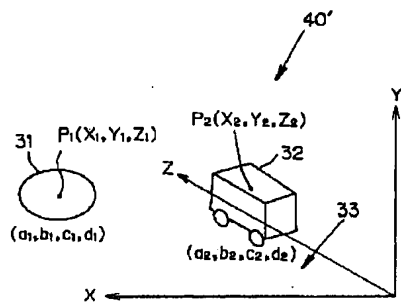
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 水井 精一
神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製
作所研究所内